



TITLE:

神経コーディング様式の統計解析:  
Analog code対Digital code(  
Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

望月, 泰博

---

CITATION:

望月, 泰博. 神経コーディング様式の統計解析: Analog code対Digital code. 京都大学, 2016, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19483>

RIGHT:

京都大学	博 士 ( 理 学 )	氏名	望月 泰博
論文題目	神経コーディング様式の統計解析: Analog code 対 Digital code		
(論文内容の要旨)			
<p>神経細胞は「発火」あるいは「スパイク」と呼ばれる1ミリ秒程度の一過的電気インパルスを発生する. 動物が光や音などの刺激を受けるときや, 運動するときには, その脳内の神経スパイクの発生状況に変化がみられることから, 感覚や運動の情報が神経スパイクによって担われていると考えられてきた. しかし情報が具体的にどのような様式でスパイク時系列に符号化されるかという問題は, 脳神経情報処理の根本にかかわり, 古くから様々な議論が行われてきたにもかかわらず, 現在でも十分理解されていない. 本論文では, 単一神経細胞のコーディング問題に関して新しい様式が提案され, 与えられたスパイク時系列を解析する手法が構築されている.</p> <p>神経発火時系列に情報がどのように表現されているかというコーディングの問題には長い論争の歴史がある. 1926年, Edger Adrianは筋肉の張力受容体の反応を調べ, 神経細胞が電気インパルス信号を発生すること, そしてその発生頻度が筋張力に相関していることを見いだした. 以後, 神経科学研究の多くは神経スパイク発火頻度と動物の感覚や運動などの相関を見いだすことによって脳の情報処理機序を証明してきた. しかし1980年代後半に入ると神経発火頻度では説明が困難に思える現象が注目を集めるようになり, スパイクの発生タイミングやスパイク時系列の時間構造に情報がのっているという説が現れた. 伝統的なコーディング様式を発火頻度コーディング説(rate coding hypothesis)と呼び, それに対してスパイクの発生時刻に情報が載っているとする説をタイミングコーディング説(temporal coding hypothesis)という標語で呼んで, コーディングを盛んに論じるようになった. しかし, 後者の発火「タイミング」を定義するためには時間幅を設定する必要がある, 前者の発火「頻度」を定義するためにも時間幅を設定する必要がある, 互いに任意性がある. また発火「タイミング」とは発火「頻度」の急速な変化と解釈することも出来る. よってこれらは二律背反ではなく, その違いを明瞭に定義することができず, またその曖昧さから, 与えられたスパイク時系列に対して, その様式を一意に決定できないでいた.</p> <p>本論文では, この問題を解決するため, 新しく analog code と digital code という対立図式を導入し, 与えられた時系列に対して一意的に解釈を指定する具体的な解析手法が提案されている. ここでは, あくまでスパイクは背後の発火頻度から引き出されたものと考え, 背後の発火頻度が連続的に変化するか, あるいは2値の間を遷移するかのどちらかであると仮定した. 前者の analog code はスパイク頻度が送られるべき情報であると考え, 従来考えられてきた発火頻度コードに近い概念であり, 後者の digital code は頻度の遷移タイミングを情報としていると解釈できることからタイミングコードに近い概念と受け止めることができるが, 本論文の提案は, 与えられたスパイク列に対し, 一意的に尤もらしい解釈が具体的に指定されるという長所がある.</p>			

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

本論文では神経コーディングの問題提起を述べた1章に続き、2章ではその歴史的背景を詳細にまとめている。3章ではスパイク生成をモデル化する目的で非一様ポアソン過程の数理モデルを導入し、そのシミュレーションを行っている。与えられた頻度でランダムにスパイク列を生成することにより、頻度を解読するアルゴリズムがどの程度の推定能力を有するかを分析することができる。

4章では発火頻度の推定モデルとして状態空間モデルと隠れマルコフモデルを導入し、そのアルゴリズムを作り上げている。状態空間モデルでは頻度が連続的に変化することを想定し、与えられたスパイク列に頻度パラメータを最大尤度法によって適合させる。隠れマルコフモデルでは、ここでは隠れ状態として2値の頻度パラメータを想定し、隠れ状態が2状態の間を遷移する有様をマルコフモデルで記述する。与えられたスパイク時系列に対して、これらの2つの頻度パラメータや、各時刻にとっての隠れ状態をVitarbi法により推定する。かくして状態空間モデルと隠れマルコフモデルによって1つのスパイク時系列に対して、2通りの頻度解釈が得られる。

5章ではこれらの2通りの頻度解釈を競合させ、どちらがデータをより良く表現しているかということを判定する。2モデルの形式が異なり、モデルパラメータ数の定義も異なるために、これらのモデル選択は容易ではない。その選択のためにこの問題に特化した交差検定法が提案されている。この方法が適切な推定を行っているかについては4章で構築した生成モデルで仮想的データを作成して検証を行っている。

最後に、この推定アルゴリズムを用いて、脳の視覚情報処理に係わる領域である一次視覚野 (V1)、MT野 (MT)、外側膝状体 (LGN) から計測されたスパイク列の解析を行っている。その結果、皮質領野であるV1とMTではほとんどのスパイク列が「analog code」に分類されたのに対して、視床に位置するLGNでは比較的多くのスパイク列が「digital code」に分類されることがわかった。この結果は、異なる解剖学的構造と機能を持つ脳領域間で、コーディング様式に違いが見られることを示している。

本研究は神経コーディングという大問題に対する長い論争に一石を投じるものであり、とりわけ実際に計測される大量のデータに対して具体的な解析結果を提供するものとして重要な寄与が認められる。よって、本申請論文は総合的に優れた内容を有するものとして、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。なお、本論文に報告された研究業績を中心に平成27年12月24日に論文内容に関する口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降